

M1-005 IDENTIFIKASI FITUR KEKASARAN PERMUKAAN BERBASIS VISION UNTUK PRODUK HASIL PEMESINAN

Gandjar Kiswanto, Budi Haryanto, Gatot Eka Pramono

Laboratorium Teknologi Manufaktur dan Otomasi
Departemen Teknik Mesin - Universitas Indonesia

Kampus Baru UI – Depok 16424
gandjar_kiswanto@eng.ui.ac.id

Abstrak

Kualitas permukaan produk hasil proses pemesinan adalah salah satu parameter penting dalam proses manufaktur. Metode yang paling umum untuk mengukur nilai kekasaran permukaan adalah metode kontak mekanik antara pergerakan jarum dengan permukaan produk. Metode ini memiliki banyak kelemahan karena bisa merusak permukaan produk dan cenderung lama. Untuk itu maka dikembangkan teknologi optik-elektrik yang mampu mengevaluasi kekasaran permukaan berdasarkan image hasil identifikasi kamera digital. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi fitur permukaan produk hasil pemesinan turning dan melakukan analisa korelasi dengan nilai kekasaran rata-ratanya (Ra). Material yang diuji adalah carbonsteel dengan diameter 20 mm dan panjang 100 mm sejumlah 10 sampel. Pengukuran kekasaran rata-rata (Ra) memakai stylus-profile meter. Identifikasi profil permukaan menggunakan kamera digital Canon EOS 350D yang terhubung pada mikroskop dengan perbesaran 100 kali. Pencahayaan yang digunakan adalah 13 buah LED warna putih dengan sudut pencahayaan sebesar 45°. Software yang digunakan untuk melakukan image processing adalah Matlab. Hasil yang dicapai pada tampilan 2D menunjukkan adanya pola yang khas pada image berupa garis hitam dan putih yang bervariasi. Lebar garis putih, jarak antar garis putih dan grafik histogram warna menunjukkan adanya korelasi dengan nilai kekasaran rata-ratanya. Tampilan 3D image permukaan dapat terbentuk dari nilai intensitas pikselnya.

Abstract

Surface quality of machined-part is an important parameter in manufacturing process. Recently, measuring of surface roughness is commonly performed by mechanical contact between stylus and product surface. However, this method is not fast enough and can potentially damage the product. Therefore, a different method, which is used here, relied on optic-electric relationship has been developed based on digital camera images. The objective of current study is to identify the surface features of turned-parts machining and their correlation with respect to Roughness average (Ra) of stylus-profile meter. Ten samples of carbonsteel specimen, i.e., 100 mm length and 20 mm wide, are used during experiment. The identification of surface features is done by Canon EOS 350D digital camera and 100 times microscope magnification using 10 white LED and 45 degrees angle lighting. Sample images produced by the identification is then processed in Matlab. Finally, a unique pattern of 2D vision, i.e., black and white line, can be observed on the processed images which indicates correlation with roughness average. 3D plot of surface image formed from pixel intensity.

Kata kunci :fitur, kekasaran permukaan, vision, image processing.

1. PENDAHULUAN

Kualitas produk manufaktur hasil proses pemesinan selalu dikaitkan salah satunya dengan ketepatan dimensi-toleransi dan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) dari produk hasil proses

pemesinan. Oleh karena itu kekasaran permukaan menjadi salah satu standar keakuratan dan kualitas permukaan produk.

Selama ini umumnya pengukuran kekasaran pada permukaan produk masih menggunakan sensor pergerakan jarum pada alat ukur kekasaran (*stylus profile-meter*). Metode ini tentu saja memiliki kelemahan diantaranya dapat merusak permukaan produk yang diukur karena terjadi kontak secara mekanik antara jarum dan permukaan benda uji, selain itu juga metode ini membutuhkan banyak waktu sehingga tidak cocok pada lingkungan yang serba cepat dan otomasi.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, metode pengukuran non kontak menggunakan teknik optik sangat dibutuhkan. Ada beberapa metode yang menggunakan teknik optik untuk mengukur kekasaran permukaan termasuk pantulan sinar laser, *laser profilometry*, *astigmatic focus*, dan sebagainya. Semua metode tersebut terlalu mahal dan membutuhkan tenaga ahli untuk mengoperasikannya. Oleh karena itu kami mengembangkan metode *vision* yang menggunakan mikroskop dan kamera digital untuk mengidentifikasi permukaan produk dalam bentuk *image* sehingga bisa diproses secara komputasi. Sistem *machine vision* memungkinkan pengukuran nilai kekasaran dengan cara melakukan pengolahan data dari *image/gambar/citra* hasil pemotretan dengan bantuan perangkat lunak (*software*) Matlab [8,11].

2. TEORI

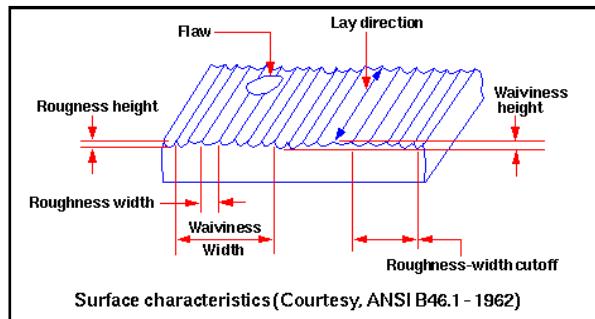
2.1 Pemesinan *Turning*

Proses pemotongan logam pada dasarnya merupakan proses pelepasan material yang tidak diinginkan dari sebuah benda kerja dalam bentuk *chips* atau geram. Seperti yang telah diketahui bahwa proses pemotongan logam merupakan dasar dari sebuah industri manufaktur. Proses ini merupakan proses yang kompleks dikarenakan merupakan proses dengan variasi input yang cukup luas seperti jenis mesin, *cutting tools*, *speed*, *feed rate*, dan sebagainya [4].

Salah satu proses pemotongan logam yang umum digunakan dalam dunia manufaktur adalah proses *turning*. Proses *turning* sendiri merupakan kombinasi dari dua gerakan yaitu rotasi dari *workpiece* yang diputar pada spindel dan translasi secara horizontal yang merupakan gerakan pemakanan oleh mata pahat. Namun dalam beberapa aplikasi, *workpiece* dapat diatur sebagai *part stationer* dengan *tools* yang berputar di sekelilingnya untuk melakukan proses pemakanan.

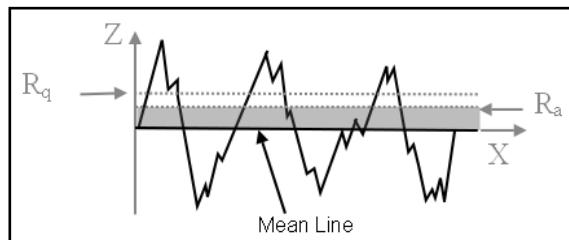
2.2 Parameter kekasaran rata-rata

Kekasaran (*Roughness*) adalah ukuran tekstur pada sebuah permukaan yang ditentukan oleh deviasi vertikal pemukaan sebenarnya dari bentuk idealnya. Jika nilai deviasinya besar maka permukaannya kasar, jika deviasinya kecil berarti permukaannya halus. Kekasaran dianggap sama dengan frekuensi tinggi, panjang gelombang yang pendek pada permukaan yang diukur..



Gambar 1. Karakteristik profil permukaan hasil proses pemesinan.

Parameter kekasaran rata-rata merupakan nilai kekasaran tengah aritmetik (*the arithmetic mean roughness value*), *AA* (*arithmatic average*), atau *CLA* (*center line average*). *Ra* banyak dikenal secara universal dan digunakan pada parameter *roughness* internasional.



Gambar 2 Parameter kekasaran permukaan

Nilai *Ra* dihitung dengan persamaan :

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |Z(x)| dx \quad (1)$$

Dimana :

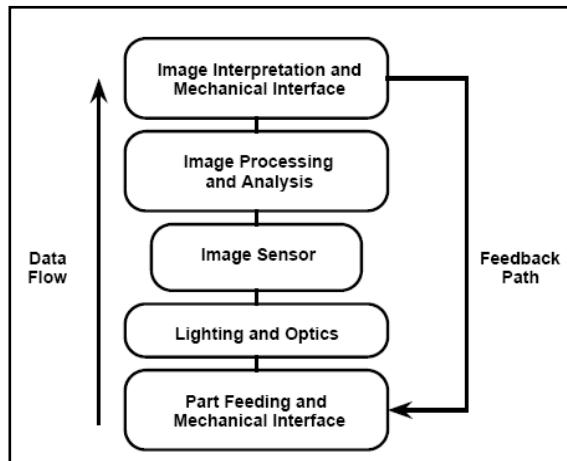
Ra = Penyimpangan rata-rata aritmatik-garis tengah

L = panjang sampling

Z = ordinat dari kurva profil

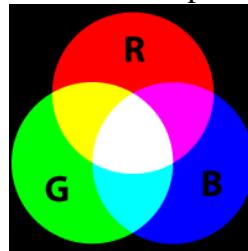
2.3 Sistem Machine Vision

Machine Vision (*MV system*) merupakan aplikasi dari *computer vision* untuk industri dan manufaktur. Sedangkan *computer vision* terutama difokuskan pada mesin yang berbasis pengolahan gambar (*image processing*). *Machine vision* merupakan sub bagian dari bidang keteknikan yang memadukan ilmu komputer, optik, pemesinan dan otomasi industri. Satu dari banyak aplikasi *machine vision* adalah untuk pemeriksaan produk hasil manufaktur.



Gambar 3. Komponen machine vision

Dalam gambar digital (*image*), pixel (*picture element*) merupakan ukuran atau elemen terkecil sebuah informasi dalam sebuah *image*. Secara umum pixel disusun dalam sebuah grid dua dimensi yang direpresentasikan dengan titik, kotak atau persegi. Setiap pixel memiliki tiga atau empat komponen warna yaitu *RGB* (*red-green-blue*) atau *CMYK* (*cyan-magenta-yellow-black*). Tujuan utama dari pemodelan warna *RGB* adalah untuk menangkap, merepresentasikan, dan menampilkan objek gambar dalam sistem elektronik seperti televisi atau monitor komputer.



Gambar 4. Warna-warna additif *RGB*

Image yang tersimpan berupa data yang tersusun dalam grid (baris dan kolom) yang merepresentasikan magnitude kejernihan dan warna. Ukuran gambar diekspresikan dalam jumlah byte, semakin tinggi nilai byte menunjukkan semakin banyak pula jumlah pixelnya. Jumlah kolom dan baris yang besar menunjukkan nilai resolusi dan file yang besar pula. Setiap pixel gambar akan naik ukuran filenya ketika kedalaman warnanya bertambah. 8 bit-pixel (byte) menyimpan 256 warna, 24 bit-pixel (3 byte) menyimpan 16 juta warna yang dikenal dengan istilah *truecolor*. Image yang tersimpan dalam bentuk file bisa berbentuk jpeg, raw, tiff, gif, png, dan lain-lain.

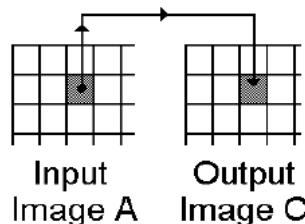
Fungsi dasar *image processing* direpresentasikan dalam bentuk tabel seperti di bawah ini. Pada tabel tersebut menunjukkan sebuah bentuk matriks 3x3 piksel dimana intensitas piksel $N(i,j)$ dipengaruhi oleh delapan piksel yang berada di sekelilingnya atau *8-neighbours* yang terdiri dari $\{(i-1,j-1), (i-1,j), (i-1,j+1), (i,j-1), (i,j+1), (i+1,j-1), (i+1,j), (i+1,j+1)\}$. Sedangkan *4-neighbours* meliputi $\{(i-1,j-1), (i-1,j+1), (i+1,j-1), (i+1,j+1)\}$

Tabel 1. Bentuk matriks 3x3 piksel

$(i-1,j-1)$	$(i-1,j)$	$(i-1,j+1)$
$(i,j-1)$	(i,j)	$(i,j+1)$
$(i+1,j-1)$	$(i+1,j)$	$(i+1,j+1)$

Suatu operator dalam sistem pengolahan gambar/image berfungsi untuk memetakan piksel demi piksel. Nilai piksel yang baru (*output*) merupakan hasil pengolahan piksel awal (*input*), bisa berupa perkalian, penjumlahan atau pengurangan. Beberapa operator tersebut diantaranya *monadic*, *dyadic*, *local operator*, dsb. Berikut ini adalah persamaan operator *monadic* :

$$c(i, j) \Leftarrow g(a(i, j)) \text{ or } E \Leftarrow g(E) \quad (2)$$



Gambar 5. Operator monadic point-by-point

3. BAHAN DAN METODE

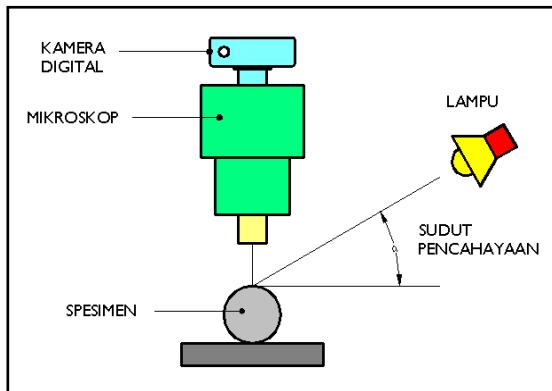
Penelitian ini menggunakan material baja silinder pejal *carbonsteel* dengan diameter 20 mm sejumlah 10 buah sampel. Panjang sampel adalah 100 mm sedangkan daerah yang dibubut sepanjang 50 mm. Mesin yang digunakan adalah CNC EMCO *Turning* yang berada di laboratorium manufaktur Departemen Teknik Mesin UI dengan mata pahat yang digunakan adalah merk SECO tipe DCMT11T308-F2 buatan Swedia. Pada saat proses pemesinan *turning*, parameter putaran *spindle* yang digunakan adalah 2000 RPM dan *depth of cut* sebesar 0,50 mm. Adapun variasi *feedrate* dimulai dari 50 sampai 275 mm/menit dengan nilai perbedaan untuk setiap sampel adalah 25 mm/menit.



Gambar 6. Sampel penelitian

Peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran kekasaran permukaan sampel adalah *Stylus Profile Meter AMS* buatan Inggris yang berada di Laboratorium Metrologi DTM FTUI. Panjang area pengukurnya sejauh 4 mm dengan hasil cetak berupa nilai Ra, Rmax dan Rz. Untuk melakukan identifikasi *image/gambar*, digunakan kamera profesional Canon SLR EOS 350D yang terhubung pada mikroskop dengan perbesaran 100 kali. Pencahayaan menggunakan 13 buah LED warna putih dengan sudut pencahayaan sebesar 45°.

Permukaan sampel yang telah diidentifikasi selanjutnya diproses dengan *Matlab programming* yang telah dibuat sebelumnya untuk mengamati karakteristik dari masing-masing *image* berupa program untuk mengukur lebar *edge* putih, jarak antar *edge* putih dan nilai rata-rata histogram *image* untuk setiap sampel dengan nilai kekasaran tertentu.



Gambar 7. Skema identifikasi image

Algoritma 1 : Melakukan pengeplotan histogram warna

Inisial/Masukan Awal :

Image permukaan setiap sampel (format file dalam bentuk jpeg);

Pengolahan data image :

Membaca data setiap piksel warna image permukaan sampel

Membaca jumlah baris, kolom dan layer setiap image

Membaca data pada layer 1/Red (RGB)

Membaca data pada layer 2/Green (RGB)

Membaca data pada layer 3/Blue (RGB)

Menghitung nilai rata-rata (mean) untuk layer warna merah (Red)

Menghitung nilai rata-rata (mean) untuk layer warna hijau (Green)

Menghitung nilai rata-rata (mean) untuk layer warna biru (blue)

Mengeplot grafik histogram untuk masing-masing layer warna RGB

Hasil : Tampilan tiga grafik histogram

Selesai algoritma 1

Algoritma 2 : Melakukan pengeplotan grafik 2D dan 3D

Inisial/Masukan Awal :

Image permukaan sampel (format file dalam bentuk jpeg);

Pengolahan data image :

Membaca data piksel pada pertengahan baris

Membaca data piksel pada kolom dengan batasan tertentu

Melakukan pengeplotan grafik 2D dn 3D pada batasan data baris dan kolomnya.

Selesai algoritma 2

Algoritma 3: Mencari lebar garis/edge warna putih dan jarak antar garis/edge warna putih.

Inisial/Masukan Awal :

Image permukaan sampel (format file dalam bentuk jpeg);

Pengolahan data image :

Membaca data setiap piksel warna image permukaan sampel

Mengubah format RGB menjadi binary image

Menghilangkan noise/piksel yang berlebih pada setiap garis

Mengisi kekosongan piksel pada tiap garis hitam dan putih

Membaca baris tengah

Melakukan looping kolom pada baris tengah

Membuat persamaan untuk mencari posisi kolom garis putih

Jika nilainya 1

Maka simpan datanya pada matriks pertama

Selain itu jika nilainya -1

Maka simpan datanya pada matriks kedua

Selesai

Menghitung lebar garis/edge dari matriks baru

Menghitung jarak antar garis/edge dari matriks baru

Mengeplot image awal dan akhir

Hasil : Lebar garis/edge putih, Jarak antar garis/edge putih, tampilan image awal dan akhir.

Selesai algoritma 3

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran kekasaran pada sampel uji dengan kecepatan spindle 2000 rpm dan *depth of cut* 0,5 mm, maka didapatkan data-data sebagai berikut :

Tabel 2 .Nilai kekasaran permukaan sampel

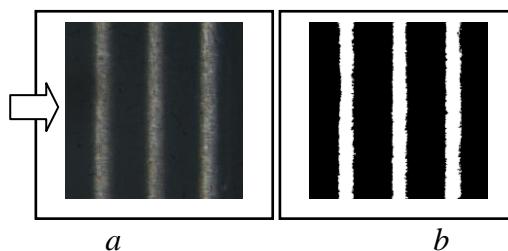
No. Sampel	Feed rate (mm/menit)	Ra(μ m)	
		1	2
1.	50	0,03	0,97
2.	75	0,06	0,83
3.	100	0,11	1,03
4.	125	0,16	0,88
5.	150	0,23	1,36
6.	175	0,31	1,35
7.	200	0,40	0,93
8.	225	0,51	1,53
9.	250	0,63	2,30
10.	275	0,76	1,96

Keterangan :

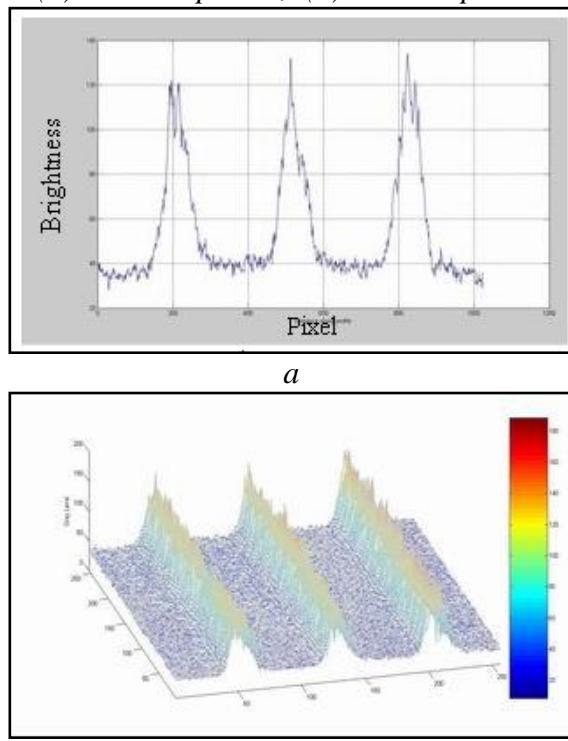
Ra(1) = Nilai kekasaran ideal hasil perhitungan.

Ra(2) = Nilai kekasaran rata-rata hasil pengukuran dengan *stylus profile meter*.

Sampel yang sudah diukur nilai kekasaran permukaannya, selanjutnya diidentifikasi secara langsung pada area yang sama menggunakan kamera digital yang terhubung pada mikroskop dengan perbesaran 100x dan sudut pencahayaan sebesar 45°. Format image yang dihasilkan berbentuk jpeg dengan resolusi sebesar 1024x1024 piksel. Selain melakukan identifikasi untuk semua sampel penelitian, prosedur ini juga dilakukan terhadap permukaan pelat kalibrator 2,9 μ m. Semua image selanjutnya diproses secara komputasi numerik menggunakan program Matlab yang sudah dibuat.



*Gambar 8. Image pelat kalibrator 2,9 μm
(a) sebelum proses, (b) sesudah proses*

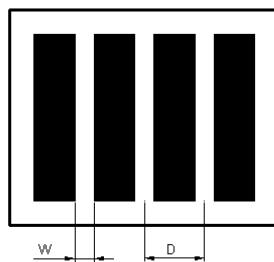


Gambar 9.(a) plot 2D, (b)plot 3D

Berikut ini data-data yang didapatkan dari hasil *running* program Matlab untuk nilai lebar puncak dan jarak antar puncak yang diwakili oleh garis/edge warna putih yaitu :

Tabel 3 Data hasil image processing dengan Matlab

No.	Nama sampel	Ra (μm)	Lebar garis putih (pixel)	Jarak garis putih (pixel)	Mean of Histogram		
					R	G	B
1.	Pelat kalibrator	2,9	80	307,25	49,42	54,13	54,63
2.	Sample 1 (50)	0,89	6,67	67,50	74,28	78,07	82,80
3.	Sampel 2 (75)	0,91	22	130,25	74,22	76,47	78,92
4.	Sampel 3 (100)	0,75	17,67	77	88,84	91,69	95,48
5.	Sampel 4 (125)	0,87	23,67	110,25	74,46	76,26	77,84
6.	Sampel 5 (150)	1,35	40,67	171,50	85,37	87,93	91,27
7.	Sampel 6 (175)	1,36	41,67	151	64,21	66,66	68,95
8.	Sampel 7 (200)	0,46	13	62,50	86,24	89,94	96,63
9.	Sampel 8 (225)	4,32	12,33	79	83,78	86,51	90,52
10.	Sampel 9 (250)	2,67	27,67	153,75	79,31	81,70	84,65
11.	Sampel 10 (275)	0,76	15,33	216	72,76	74,80	76,57



Keterangan :

W = Lebar garis/edge putih
D = Jarak antar garis/edge putih

Teknologi vision yang memanfaatkan kamera untuk proses identifikasi objek serta *software* untuk melakukan *image processing* membuat identifikasi fitur permukaan bisa dilakukan hanya dengan *image* saja. Tampilan grafik 2D dan 3D di atas merupakan hasil dari identifikasi fitur profil permukaan produk yang memanfaatkan nilai dari *image brightness*. Topografi dari plot 3D *image* bisa mewakili topografi aktual permukaan produk sehingga bisa dilakukan analisa secara lebih mendalam.

Dari tabel di atas yang merupakan hasil pengolahan fitur 2D *image*. Jika kita urutkan sampel nomor 1,3,5,6 dan pelat kalibrator, ternyata memiliki tren yang sama dimana kecenderungan antara nilai Ra dan lebar garis putih berbanding lurus. Hal ini juga berlaku sama pada perbandingan antara nilai Ra dan jarak antar garis putihnya yang merupakan jarak antar puncak ke puncak. Namun berbeda halnya dengan nilai Ra yang justru berbanding terbalik dengan nilai rata-rata intensitas warna RGB. Hal ini dikarenakan garis putih yang merupakan lebar puncak pada sudut pencahayaan 45 derajat menunjukkan nilai yang semakin besar ketika kekasarannya bertambah dan sebanding pula dengan jaraknya yang bertambah lebar pula. Jumlah puncak yang semakin banyak ketika nilai kekasarannya mengecil membuat grafik histogramnya cenderung berada pada daerah terang. Tentu saja hal ini membuat nilai Ra berbanding terbalik dengan nilai rata-rata intensitas warna pada grafik histogramnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan analisa hasil pengukuran, maka didapatkan beberapa kesimpulan yang dapat dijadikan parameter tercapainya tujuan ini. Adapun hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Identifikasi fitur kekasaran permukaan hasil pemesinan dapat dilakukan dengan memanfaatkan *image* atau gambar dari permukaan hasil pemesinan tersebut.
2. Nilai-nilai yang diolah untuk identifikasi fitur adalah nilai dari *brightness* atau derajat kecerahan dari gambar permukaan.
3. Pola *image* berupa garis/edge hitam dan putih merupakan karakteristik yang khas pada fitur 2D permukaan produk hasil pemesinan *turning*.
4. Lebar garis/edge warna putih yang merupakan lebar dari puncak pada profil permukaan terlihat semakin membesar seiring bertambahnya nilai kekasarannya.
5. Jarak antar garis/edge warna putih secara realistik merupakan jarak antar puncak pada profil permukaan yang memiliki kecenderungan yang semakin renggang ketika nilai kekasarannya bertambah.
6. Nilai kekasaran rata-rata (Ra) berbanding terbalik dengan nilai rata-rata intensitas piksel pada *image* untuk setiap lapisan warna merah, hijau dan biru (RGB) yang berarti *image* semakin terang (*brightness & contrast*) ketika nilai kekasaran rata-ratanya mengecil.

2. Saran

Dalam upaya pengembangan penelitian ini, beberapa saran yang dapat peneliti berikan diantaranya :

1. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan beberapa parameter pemesinan lainnya untuk mendapatkan data yang lebih lengkap sehingga bisa didapatkan persamaan korelasi yang nilai galatnya minimum.
2. Melakukan eksplorasi *image* secara komputasi numerik untuk menemukan kemungkinan fitur yang lain sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan nilai kekasaran berbasis *vision*.

DAFTAR PUSTAKA

1. B. G. Batchelor, P. F. Whelan. (2002). *Intelligent Vision Systems for Industry*.
2. B. G. Batchelor, J.-R. Charlier. (1998). *Machine Vision is Not Computer Vision*. Keynote paper, proc. SPIE conf., Machine Vision Systems for Inspection & Metrology VII, Boston, MA, November 1998, vol 3521, pp 2-13, ISBN 0-8194-2982-1.
3. B. G. Batchelor & P. F. Whelan (editors) (1997). “*Industrial Vision Systems*”, SPIE Milestone Series, vol MS 97, pub. SPIE - The International Society for Optical Engineering, Bellingham WA, U.S.A., ISBN 0-8194-1580-4.
4. Degarmo, E. Paul., J.B. (2003). *Materials and Process in Manufacturing*. New Jersey: Welley.
5. Elango, L. Karunamoorthy. (2007). *Effect of lighting conditions in the study of surface roughness by machine vision – an experimental design approach*. Springer-Verlag London Limited.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

6. Gandjar K. (2008). *Sistem Machine Vision*. Materi kuliah. Departemen Teknik Mesin, FTUI.
7. <http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/quality/sfinish/terminology.html>. *Natural Roughness*. Kamis, 25 Juni 2009.
8. www.rubert.co.uk/Ra.htm. *Roughness Parameters*. Jumat, 26 Juni 2009.
9. Petrou M., Bosdogianni P. (1999). *Image Processing The Fundamental*. John Willey & Sons, New York USA.
10. Rafael C. Gonzales. (2002). *Digital Image Processing using Matlab*. Prentice Hall, NJ. USA.
11. Russ, John C. (2006). *The Image Processing Handbook*. Fifth edition. Taylor & Francis Group.
12. Shahabi H.H., Ratnam M.M. (2009). *In-cycle monitoring of tool nose wear and surface roughness of turbed parts using machine vision*. Intl J Adv Manut Technol 40:1148-1157. Springer-Verlag London Limited.
13. The Math Works Inc., Natick, MA. (2004). *Image Processing Toolbox*. User Guide Versi 7.0.1.
14. Tsai Du-Ming. Chen Jeng-Jong, Chen Jeng-Fung. (1998). *A Vision system for surface roughness assessment using neural networks*. Intl J Adv Manut Technol 14:412-422. Springer-Verlag London Limited.
15. Wawan. (2007). *Digital Imaging-Histogram*.
http://cyberwayang.multiply.com/journal/item/52/digicam_Digital_Imaging_-_Histogram
16. Zhongxang Hu, Lei Zhu, Jiaxu Teng, Xuehong Ma, Xiojun Shi. (2009). *Evaluation of three-dimensional surface roughness parameters based on digital image processing*. Int J Adv Manut Technol 40:342-348. Springer-Verlag London Limited.